

## بررسی محلول‌های جامد خانواده فیروزه در معادن نیشابور و میدوک بر اساس داده‌های EPMA

۱. الهه، منصوری گندمانی\*، کارشناس ارشد پترولوژی دانشگاه تربیت مدرس E.mansuri@modares.ac.ir

۲. نعمت‌الله، رشیدنژاد عمران، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس، rashid@modares.ac.ir

۳. امیر امام‌جمعه، دانشجو دکترا پترولوژی دانشگاه تبریز، AJP از انیستیتو گوهرشناسی آمریکا، هیأت موسس کانون کارآفرینی علوم گوهر دانشگاه تبریز.

### چکیده

کانی فیروزه (Turquoise)، در گروه فیروزه قرار دارد. این کانی همراه با پنج کانی دیگر (کالکوسیدریت، فوستاست، پلانریت، آهلایت و سیرولیولکتایت) دارای فرمول عمومی  $A_{0-1}B_6(PO_4)_4(OH)_8.4H_2O$  می‌باشند. ترکیبات متفاوتی از عناصر Fe و Cu, Al در شبکه ساختاری، طیف گسترده‌ای از رنگ و انواع کانی‌های این گروه را ایجاد می‌کند. این پژوهش دو فیروزه ایرانی نیشابور و میدوک را بررسی می‌نماید. معدن فیروزه نیشابور در شمال شرق ایران، در ۲۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان فیروزه و در سنگ میزبان آتشفشانی و نفوذی به سن ائوسن و پس از آن واقع شده است. فیروزه میدوک کانی همراه مس در معدن مس پورفیری میدوک در استان کرمان و در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهر بابک قرار گرفته است. سنگ میزبان شامل سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری است که توسط توده‌های نفوذی متعددی از جنس گرانودیوریت قطع شده‌اند. فیروزه‌های نیشابور و میدوک به صورت آمورف و نهان بلور با ژئومتری رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و جانیشینی بر روی فلدسپات‌های دگرسان شده تشکیل شده‌اند. بر اساس بررسی‌های الکترون میکروپروب EPMA ۱۷ نمونه فیروزه، فیروزه‌های هر دو معدن خالص نمی‌باشند و توزیع ترکیب شیمیایی آنها در نمودار چهار وجهی محلول جامد پلانریت-فیروزه-کالکوسیدریت-کانی ناشناخته در طبیعت، در طول خط اتصال فیروزه به پلانریت همراه با اجزای کمتری از کالکوسیدریت و کانی ناشناخته قرار می‌گیرند. نمونه‌های میدوک تمایل بیشتری به سمت پلانریت نشان می‌دهند.

کلیدواژه: فیروزه، محلول جامد، پلانریت، EPMA، نیشابور، میدوک، گوهر شناسی

### مقدمه

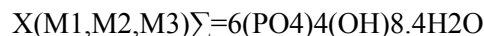
کانی فیروزه (Turquoise)، از دیرباز به‌عنوان یک گوهر قیمتی مطرح بوده است تا بدان جا که قدمت این گوهر و استفاده از آن در جواهرات و دکوراسیون‌های شخصی به ۷۰ قرن پیش، در مصر باستان برگردد (۵-۹). بر اساس باور عمومی مردم و گوهر شناسان و موسسه گوهرشناسی آمریکا (GIA)، بهترین نوع فیروزه جهان، فیروزه نیشابور است که از روستای معدن در ۲۰ کیلومتری شهر فیروزه به دست می‌آید (۷). منابع فیروزه‌های گوهری با کیفیت محدود هستند و بسیاری از فیروزه‌های بازار مصنوعی و یا بهسازی شده هستند (۱۲-۵-۳). فیروزه از جمله گوهرهایی است که کانی‌های مشابه زیادی دارد. برخی از این کانی‌ها در گروه فیروزه قرار می‌گیرند و برخی دیگر فقط از نظر ظاهری به فیروزه شبیه هستند. برخی از این شبه فیروزه‌ها، شامل واریسکیت Variscite، ادونتولیت Odontolite، آمازونیت Amazonite، کریزوکولا Chrysocolla و بروشانیت Brochantite و کالکانتیت Chalcantite (۹) و فاستایت faustite می‌باشند (۴).



## اطلاعات پس‌زمینه

بلورهای فیروزه به‌صورت نهان‌بلورین و در سیستم تریکلینیک متبلور می‌شوند و گاهی نیز در قالب بلورهای شبه رومبوهدرال رشد می‌کنند (۸). فیروزه یک آلومینیم فسفات مس آب‌دار با فرمول شیمیایی  $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$  است، که در گروه کانیاپی فیروزه قرار دارد. گروه فیروزه دارای حداقل شش عضو انتهایی است و با فرمول عمومی  $A_0-1B_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$  نوشته می‌شود (۴-۱۶). در جدول (۱) کانی‌های گروه فیروزه آورده شده‌است. عناصر  $Fe^{2+}$  و  $Cu^{2+}$  معمولاً در سایت A و عناصر  $Al^{3+}$  و  $Fe^{3+}$  و  $Cr^{3+}$  در سایت B قرار می‌گیرند (۶). در بعضی از کانی‌های نادر گروه فیروزه، عناصر  $Ca^{2+}$  و  $Zn^{2+}$  نیز در سایت A رخ می‌دهند (۴). ترکیبات متفاوتی از عناصر Cu, Al, Fe در شبکه ساختاری فیروزه، طیف گسترده‌ای از رنگ را ایجاد می‌کند (۱۶). تفاوت رنگ در فیروزه به دلیل تفاوت در نسبت‌های Fe و Cu است. به‌طوری‌که، فیروزه‌های آبی‌رنگ دارای  $Cu^{2+}$  در سایت A و  $Al^{3+}$  در سایت B هستند. در حالی‌که، در فیروزه‌های سبزرنگ، تا حدود زیادی  $Fe^{3+}$  در سایت B جانشین Al می‌شود (۴).

این کانی با شبکه بلورین تریکلینیک دارای گروه فضایی P1 می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به شکل ساختار فیروزه، سایت‌های کئوردیناسیونی اکتاهدرالی ممکن است شامل ۲ گروه باشند. سایت‌های M1-M3 که غالباً توسط کاتیون‌های ۳ ظرفیتی کوچک اشغال می‌شوند و سایت X که توسط کاتیون‌های ۲ ظرفیتی سایز متوسط (مانند  $Cu^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ) اشغال می‌شوند و بر این اساس می‌توان فرمول شیمیایی فیروزه را به‌صورت زیر نوشت (۱۶-۲):



رنگ فیروزه معمولاً از سبز کم‌رنگ تا آبی پررنگ متغیر است، اما رنگ آبی آسمانی فیروزه‌های آمریکا را بیشتر به وجود مس و آهن در ترکیب آن نسبت داده‌اند. تبدیل رنگ آبی به سبز به‌مرور زمان می‌تواند به علت از دست دادن آب آن باشد. در حرارت ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، رنگ آبی آسمانی فیروزه به رنگ سبز مات تبدیل می‌شود (۱۱). هم‌رشدی فیروزه با کریزوکولا و مالاکیت باعث تشکیل گوهری به نام یلوت‌استون (Eilatstone) می‌شود (۲۱-۱۳).

## روش مطالعه

نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از معدن فیروزه نیشابور و میدوک مس پورفیری میدوک برداشت شده‌است. مشخصات منشأ نمونه‌ها در جدول ۲ آورده شده است. تعداد ۱۱ نمونه به‌صورت بلوک‌های کوچک فیروزه و تعداد ۶ نمونه به‌صورت مقاطع نازک صیقلی تهیه شد. پتروگرافی تیغه‌های نازک صیقلی توسط میکروسکوپ پلاریزان در دانشگاه تربیت مدرس تهران مطالعه شدند. همه نمونه‌ها (بلوک‌ها و مقاطع نازک) به دانشگاه میلان ایتالیا ارسال شد و به روش EPMA توسط پروفسور Diego Gatta در ۱۹ نقطه آنالیز شدند. آنالیز میکروپروب کمی، به روش پراکندگی-طول موج (EPMA-WDS) بر روی نمونه‌های صیقلی کوت شده با کربن، به وسیله یک میکروپروب الکترون JXA 8200 انجام شده است. این سیستم با یک ولتاژ شتاب‌دهنده 15 kV، جریان پرتو 5 nA، یک زمان شمارشی ۳۰ ثانیه‌ای بر روی پیک‌ها و زمان ۱۰ ثانیه‌ای بر روی پس‌زمینه و قطر پرتو 10  $\mu m$  به کار انداخته شد. به منظور جلوگیری از تصعید نمونه در زیر پرتو الکترون



یک پرتو با سایز بزرگ انتخاب شد. از کانی‌ها برای استاندارد استفاده شد (گرافیت برای عناصر P, Fe, Mn، گراسولار برای عناصر Si, Al, Ca، فلدسپات پتاسیم برای K، فورستریت برای Mg، امفاسیت برای Na و کالکوپیریت برای Cu). داده‌های خام برای تأثیرات ماتریکس با استفاده از پروتکل  $\Phi\rho Z$  اصلاح شد. متوسط ترکیب شیمیایی و فرمول شیمیایی متناسب با فیروزه‌های مورد بررسی به دست آمده است.

#### موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه:

معدن فیروزه نیشابور در استان خراسان رضوی و در ۲۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان فیروزه واقع شده است، (۱). بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای سنگی این منطقه را می‌توان به طور کلی به سه دسته تقسیم کرد (شکل ۲): الف) واحدهای آتشفشانی، ب) واحدهای نفوذی ساب و لکانیک که سن آنها بعد از ائوسن تخمین زده می‌شود. ج) واحدهای برش گسلی و برش هیدروترمال.

استخراج فیروزه در این معدن از سه تونل، شامل تونل آبدار (اصلی)، تونل غاردوم و تونل زاک انجام می‌شود (شکل ۴). معدن مس میدوک در استان کرمان، در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهر بابک قرار گرفته است. محدوده دربر گیرنده میدوک از سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری تشکیل شده است که توسط توده‌های نفوذی متعددی از جنس گرانودیوریت قطع شده‌اند (شکل ۳)، شکل (۵) نمایی از معدن مس میدوک را نشان می‌دهد (۱۷-۱۵).

#### بحث

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، نمونه‌های غنی از فیروزه به صورت نهان بلور و آمورف و یا به صورت هم‌رشدی با سایر کانی‌های پاراژن مانند کائولینیت هستند (شکل ۶، الف) که بصورت رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و یا جانشینی بر روی کانی‌های فلدسپات دگرسان شده، تشکیل شده‌اند (منصوری، ۱۳۹۵). اینکلوژن‌هایی از پلاژیوکلازهای دگرسان شده مخصوصاً در فیروزه‌های میدوک و قطعات کوچکی از سنگ میزبان در رگچه‌های فیروزه قابل مشاهده است. (شکل ۶، ب). کانی‌ها مانند پیریت و هماتیت از جمله اینکلوژن‌های رایج در فیروزه می‌باشند (شکل ۷). حضور اینکلوژن‌هایی از سنگ میزبان نشان از ثانویه بودن کانی‌های خانواده فیروزه می‌باشد.

این نمونه‌ها به صورت جلای خاکی، ریز دانه و موادی با چگالی متغیر به نظر می‌رسند. سعی شده است آنالیز از نقاطی

انجام شود که فیروزه خالص و بدون ادخال یا منطقه بندی رنگی باشد. فرمول شیمیایی فسفات‌های تحت بررسی با

استفاده از فرمول کلی گروه فیروزه محاسبه شده‌اند (۴):

$$(M^{2+})_{1-x} (M^{3+})_6 (PO_4)_2$$

$$(PO_4)_{1-x} (PO_3OH)_x (OH)_8, nH_2O$$

در اینجا عنصری که در جایگاه  $M^{2+}$  قرار می‌گیرند  $(K^+), Fe^{2+}, Cu^{2+}, Ca^{2+}$  و عنصری که در جایگاه  $M^{3+}$  قرار می‌گیرند  $Al^{3+}, Fe^{3+}$  هستند. عناصر  $Zn^{2+}, Mg^{2+}$  و  $Na^+$  کمتر از حد کمی قابل اندازه‌گیری پیدا می‌شوند. فرمول شیمیایی نمونه‌ها با فرض بر  $(OH)= 8+x$  and  $4H_2O$  محاسبه شده است، همانطور که توسط محاسبات استوکیومتری



انتظار می‌رود (جدول ۳). در برخی از نمونه‌ها (مانند MM115 و MN87) حضور برخی از اینکلوزن‌ها و آسیب جدی دیدن آن‌ها در زیر بیم الکترن مانع از بدست آمدن نتایج قابل اعتماد می‌شود، که این موضوع از تمرکز به شدت پایین سایت  $M^{+2}$  منعکس شده است (جدول ۳).

همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده است، ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق را می‌توان توسط محلول‌های جامد چهار عضو انتهایی گروه فیروزه نشان داد:

۱. فیروزه با فورمول شیمیایی:  $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$
۲. پلانریت با فورمول شیمیایی:  $\square Al_6(PO_4)_2(PO_3OH)_2(OH)_8 \cdot 4H_2O$
۳. کالکوسیدریت با فورمول شیمیایی:  $CuFe^{3+}_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$
۴. کانی ناشناخته در طبیعت با فورمول شیمیایی:  $\square Fe^{3+}_6(PO_4)_2(PO_3OH)_2(OH)_8 \cdot 4H_2O$

مطالعات میکروسکوپی و نتایج به دست آمده از آنالیز EPMA نشان می‌دهد نمونه‌های مورد مطالعه فیروزه خالص نیستند. با توجه جدول (۳) که درصد هریک از کانی‌های فیروزه، پلانریت و کالکوسیدریت را بر اساس داده‌های EPMA در نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد و همچنین شکل (۸)، توزیع ترکیب شیمیایی نمونه‌ها اساساً در طول خط اتصال فیروزه به پلانریت همراه با اجزای کمتری از کالکوسیدریت و کانی ناشناخته قرار می‌گیرند. اکثر نمونه‌ها شامل ۰/۱۸ تا ۰/۲۵ درصد پلانریت و ۰/۰۰ تا ۰/۱۸ درصد کالکوسیدریت و ۰/۰۶ تا ۰/۸ درصد فیروزه هستند. نمونه‌های میدوک تمایل بیشتری به سمت کانی پلانریت نشان می‌دهند. در نمونه MM115 (شکل ۹) که شامل بخش‌های آبی روشن و آبی تیره است، می‌توان گفت بخش‌های آبی روشن (MM115p) پلانریتی می‌باشد که شامل ۰/۰۱ درصد کالکوسیدریت و ۰/۲۸ درصد فیروزه و بخش‌های آبی تیره محلول جامدی از گروه فیروزه است که دارای ۰/۵۵ درصد پلانریت، ۰/۴۴ درصد فیروزه و ۰/۰۱ درصد کالکوسیدریت است. به طور کلی در بین نمونه‌های مورد مطالعه، نمونه EN6 (با ۰/۸٪ فیروزه) از منطقه نیشابور (شکل ۱۰، الف) و نمونه MM109a-1 (با ۰/۷۹٪ فیروزه) از منطقه میدوک (شکل ۱۰، ب) بیشتر به عضو انتهایی فیروزه و نمونه MN87 (با ۰/۶۶٪ پلانریت) از منطقه نیشابور (شکل ۱۰، ج) و نمونه MM115p (با ۰/۷۷٪ پلانریت) از منطقه میدوک (شکل ۹) بیشتر به عضو انتهایی پلانریت از دو عضو انتهایی فیروزه-پلانریت نزدیک می‌باشند.

### نتیجه گیری

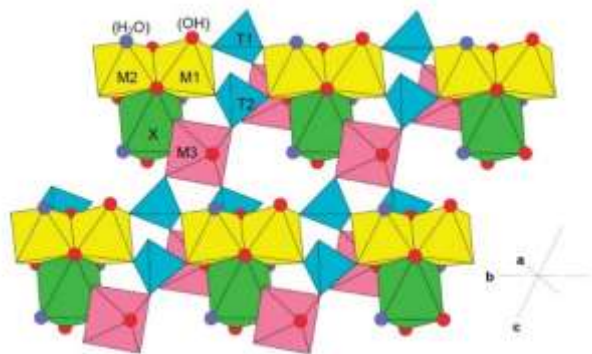
فیروزه های آمورف و نهان بلور نیشابور و میدوک ایران به صورت رگچه‌ای، پر کننده فضای خالی و جانشینی بر روی فلدسپات‌های دگرسان شده تشکیل شده‌اند. دارای انواع اینکلوزن‌ها از جمله پیریت و هماتیت هستند. این نمونه‌ها به صورت جلای خاکی، ریز دانه و موادی با چگالی متغیر به نظر می‌رسند. بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیز EPMA، نمونه‌های مورد مطالعه از فیروزه خالص تشکیل نشده‌اند. ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق را می‌توان توسط محلول‌های جامد چهار عضو انتهایی گروه فیروزه نشان داد: فیروزه با فورمول شیمیایی:  $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$ ، پلانریت با فورمول شیمیایی:  $\square Al_6(PO_4)_2(PO_3OH)_2(OH)_8 \cdot 4H_2O$ ، کالکوسیدریت با فورمول شیمیایی:  $CuFe^{3+}_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$ ، کانی ناشناخته در طبیعت با فورمول شیمیایی:  $\square Fe^{3+}_6(PO_4)_2(PO_3OH)_2(OH)_8 \cdot 4H_2O$ . توزیع ترکیب شیمیایی نمونه‌ها، در طول خط اتصال فیروزه به پلانریت همراه



با اجزای کمتری از کالکوسیدریت و کانی ناشناخته قرار می‌گیرند و تمایل آن‌ها بیشتر به سمت کانی فیروزه می‌باشد. با این وجود نمونه‌های معدن میدوک نسبت به نمونه‌های معدن نیشابور تمایل بیشتری به سمت کانی پلانریت نشان می‌دهند.

جدول (۱) کانی‌های تشکیل‌دهنده گروه فیروزه و فرمول شیمیایی آن‌ها (۴):

Mineral	Chemical formula	Color	Luster	Hardness
Aheylite,	$\text{Fe}^{2+}\text{Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	pale blue, green and blue-green	Vitreous, dull	5-5.5
Chalcosiderite	$\text{CuFe}^{3+}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	apple green, dark green	vitreous, glassy	4.5
Coeruleolactite	$(\text{Ca,Cu})\text{Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4-5(\text{H}_2\text{O})$	milk white, light blue	vitreous, waxy	5
Faustite	$(\text{Zn,Cu})\text{Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	apple green	chalky, earthy, dull	5.5
Planerite	$\square\text{Al}_6(\text{PO}_4)_2(\text{PO}_3\text{OH})_2(\text{OH})_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	green, pale blue, green and blue-green white, olive	vitreous, dull	5
Turquoise	$\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	pale green, blue-green, turquoise blue	Waxy	5-6

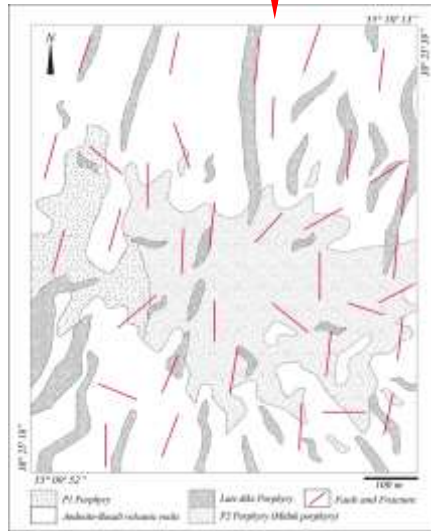
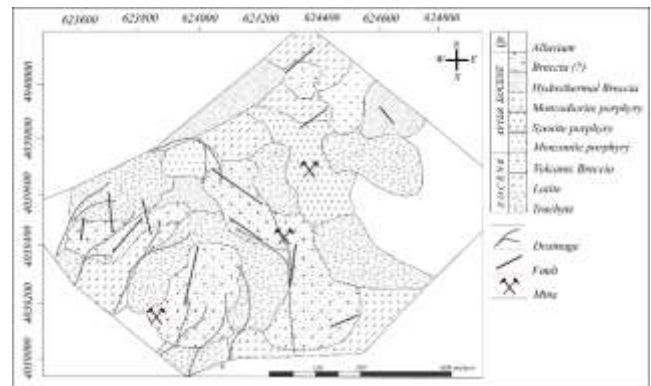
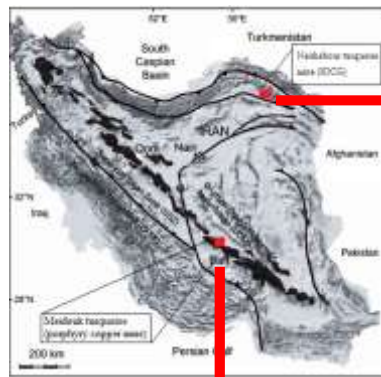


شکل (۱) ساختار بلوری فیروزه؛ اکتاهدرهای  $M_1$  و  $M_2$  با رنگ زرد، اکتاهدرهای  $M_3$  با رنگ صورتی، اکتاهدرهای  $X$  با رنگ سبز و تتراهدرهای  $T$  با رنگ آبی نشان داده شده است. پیوندهای هیدروژنی برای وضوح حذف شده‌اند. گروه‌های  $(\text{OH})$  و  $(\text{H}_2\text{O})$  به ترتیب به صورت دایره‌های قرمز و آبی نشان داده شده است (۱۶).

جدول (۲) منشأ نمونه‌ها

منشأ	نمونه‌ها
نیشابور	EN1, EN5, EN6, EN7, EN9, MN55, MN59, MN87
میدوک	MM7, MM8, MM16, MM29, MM108a, MM109a_01, MM109a_02, MM115d, MM115p, MM116c





شکل ۲) نقشه زمین‌شناسی محدوده معدن فیروزه نیشابور (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰) با اندکی تغییر در مرزها)



شکل ۳) نقشه زمین‌شناسی کانسار مس پورفیری میدوک  
(Outomec., 1992) با تغییرات، نقل از تقی پور، ۱۳۸۶)

الف) دهانه تونل اصلی      ب) دهانه تونل زاک



شکل ۴) نمایی از دهانه تونل اصلی (آبدار) و ب) دهانه تونل زاک در معدن نیشابور. شکل ۵) نمایی از معدن مس میدوک، دید به سمت جنوب شرق



شکل ۶) نمایی از مقطع فیروزه زیر میکروسکوپ نوری. فیروزه بیشتر به صورت آمورف دیده می‌شود. (الف) هم‌رشدی فیروزه با کانی پاراژنز کائولینیت، نمونه MN59. (ب) حضور سنگ میزبان و کانی فلدسپات دگرسان شده به صورت اینکلوژن در فیروزه MM116

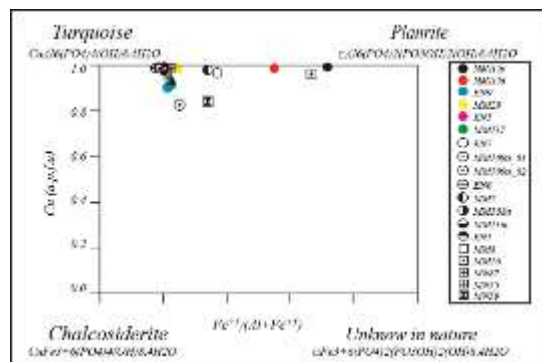


شکل ۷) اینکلوژن‌های هماتیت و پیریت در فیروزه در نمونه MN55، (الف) نور XPL، (ب) نور انعکاسی



Samples		planerite fraction	chalcosiderite fraction	Turquoise fraction	
THIN SECTIONS	Neyshabour	EN 1	0.203	0.012	0.783
		EN 5	0.218	0.027	0.753
		EN 6	0.180	0.018	0.801
		EN 7	0.368	0.034	0.596
		EN 9	0.213	0.093	0.693
	Meydo	MM 108a	0.2190	0.07	0.705
		MM 117	0.221	0.084	0.693
		MM 7	0.338	0.021	0.639
		MM 116c	0.203	0.019	0.776
		MM 115 p	0.7157	0.010	0.274
		MM 115 d	0.548	0.011	0.439
		MM 109a_01	0.252	0.173	0.573
		MM 109a_02	0.190	0.0168	0.793
	Meydook	MM29	0.241	0	0.758
		MM8	0.227	0.039	0.733
MM16		0.229	0.026	0.743	
MN87		0.664	0.033	0.301	
MN55		0.223	0.00	0.771	
MN59		0.3421	0.152	0.505	

جدول شماره ۳\_ درصد هریک از کانی‌های فیروزه، EPMA پلانریت و کالکوسیدریت بر اساس داده‌های انجام شده در دانشگاه میلان ایتالیا در نمونه‌های مورد بررسی.



شکل ۸) نمودار  $Fe^{3+}/(Al+Fe^{3+})$  در مقابل Cu (in a.p.f.u.) نمونه‌های مورد بررسی در طول خط اتصال فیروزه به پلانریت همراه با اجزای کمتری از کالکوسیدریت و کانی ناشناخته قرار می‌گیرند.

شکل ۹\_ نمونه MM115، قسمت‌های آبی کم‌رنگ نمونه با علامت اختصاری MM115p و قسمت‌های آبی تیره با علامت اختصاری MM115d نشان داده شده‌است.







شکل ۱۰\_ الف) نمونه EN6، ب) نمونه MM119a، ج) نمونه MN87.

## Reference

- 1) Alavi, Mehdi. "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran." *Journal of Geodynamics* 21.1 (1996): 1-33.
- 2) Čejka, Jiří, et al. "Raman and infrared spectroscopic study of turquoise minerals." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 149 (2015): 173-182.
- 3) Cervelle, B. "Turquoises: les bonnes, les brutes et les traitées." *La Recherche* 16.163 (1985): 244-247.
- 4) Foord, Eugene E., and Joseph E. Taggart. "A reexamination of the turquoise group: the mineral aheylite, planerite (redefined), turquoise and coeruleolactite." *Mineralogical Magazine* 62.1 (1998): 93-111.
- 5) Fritsch, Emmanuel, et al. "The identification of Zachery-treated turquoise." *Gems & Gemology* 35.1 (1999): 4-16.
- 6) Frost, Ray L., et al. "The molecular structure of the phosphate mineral turquoise—a Raman spectroscopic study." *Journal of Molecular Structure* 788.1 (2006): 224-231.
- 7) Gübelin, E. J. "A visit to the ancient turquoise mines of Iran." *Gems & Gemology* 12.1 (1966): 3-13
- 8) King, J. R., Minerals Explained 36. *Geology Today*, (2002). Vol 18, No 3.
- 9) Murthy, K. N. "The occurrence of turquoise and faustite in Tras, Pahang." *Bull. Geol. Soc. Malaysia* 23 (1989): 147.
- 10) O.T. Branson, *Turquoise, the Gem of the Centuries*, Treasure Chest Publication, Tucson, Arizona, 1975. 62 pp
- 11) O'Donoghue, M. ed., *Gems*. Taylor & Francis, (2006)
- 12) R.T. Liddicoat Jr., *Handbook of Gem Identification*, 12th ed., Gemological Institute of America, Santa Monica, California, 1989.
- 13) Schumann, W., *Gemstones of the World*. Sterling Publishing Company, Inc, (2009).
- 14) She, L. Z., et al. "[A primary Raman microscopic study of the turquoise and its role in provenance-tracking]." *Guang pu xue yu guang pu fen xi= Guang pu* 28.9 (2008): 2107-2110.

